

АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С АВТОКОМПЕНСАТОРОМ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССОРА ГРАМА-ШМИДТА

Семибаламут К. М.¹; Жук С. Я.², д.т.н., профессор

¹ Военно-дипломатическая академия имени Евгения Березняка,
г. Киев, Украина

² Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
г. Киев, Украина

Перспективным при синтезе автокомпенсаторов (АК) активных шумовых помех, является подход на основе процедуры ортогонализации Грама-Шмидта /1/. Он позволяет получить алгоритмы, которые обеспечивают параллельно-последовательную обработку сигналов. В АК на основе антенных решеток (АР), с целью экономии аппаратных затрат, а также улучшения массогабаритных характеристик изделий, компенсационные каналы часто формируются на основе элементов антенны основного канала. В дальнейшем будем полагать, что АК строятся на основе линейной эквидистантной m -элементной АР с полуволновым межэлементным расстоянием. При этом все элементы АР используются для формирования антенны основного канала, а также компенсационных каналов (малогабаритная АР).

Структурная схема АК, реализующего процедуру Грама-Шмидта, при $m=6$ показана на рис. 1. Сигналы на входах компенсационных каналов обозначены $x_1 \dots x_6$, а на входе основного канала y .

АК рис. 1 имеет лестничный вид, включает 6 ступеней, и состоит из модулей в виде двухвходовых весовых сумматоров с весовыми коэффициентами β_{ik} , $k = \overline{1,6}$, $i = \overline{k+1,7}$. В нем на основе процедуры Грама-Шмидта выполняется ортогонализация (декорреляция) входных сигналов. В результате на выходе формируются ортогонализированные сигналы $x_1^\perp \dots x_6^\perp$ компенсационных каналов и сигнал ошибки компенсации помех e . Такие устройства также получили название многоступенчатых обесцараживающих фильтров /2/.

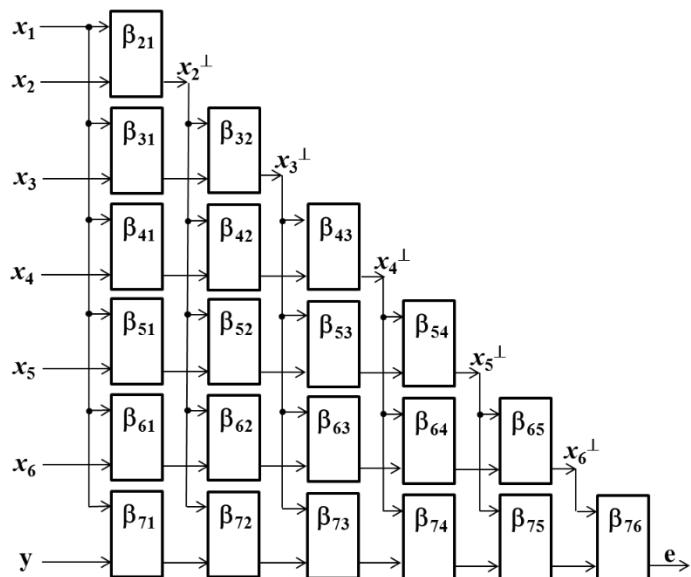


Рисунок 1

Определим диаграмму направленности (ДН) АР с АК рис. 1 для общего случая m . Связь входных и выходных сигналов можно представить в виде /2/

$$\vec{x}^\perp = H_m \dots H_k \dots H_1 \vec{x}, \quad k = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где $\vec{x} = (x_1, \dots, x_m, y)^T$ – вектор-столбец сигналов на входе АК; $\vec{x}^\perp = (x_1^\perp, \dots, x_m^\perp, e)^T$ – вектор-столбец сигналов на выходе АК; H_k – матрица размером $(m+1) \times (m+1)$, описывающая преобразование сигналов в k -ой ступени. Для $m=6$ и $k=3$ H_3 имеет вид

$$H_3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{43} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{53} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{63} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{73} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Выражение (1) можно представить в следующей форме

$$\vec{x}^\perp = G \vec{x}, \quad (2)$$

где G – матрица, являющаяся результатом произведения матриц

$$G = H_m \dots H_k \dots H_1.$$

Можно показать, что матрица G является нижней треугольной, а элементы главной диагонали равны единице. С учетом (1) и (2) сигнал ошибки компенсации e описывается выражением

$$e = \sum_{i=1}^m g_{m+1,i} x_i + y, \quad (3)$$

где $g_{m+1,i}, i = \overline{1, m}$ – элементы $m+1$ -й строки матрицы G . Учитывая параметры АР и способ формирования сигнала y , ДН $A(\Theta)$ АР определяется по формуле

$$A(\Theta) = A_{\text{осн}}(\Theta) - A_{\text{комп}}(\Theta), \quad (4)$$

где $A_{\text{осн}}(\Theta)$, $A_{\text{комп}}(\Theta)$ – ДН основного канала и компенсационная ДН

$$A_{\text{осн}}(\Theta) = \sum_{i=1}^m \exp\{j(i-1) \times \pi \sin \Theta\}; \quad A_{\text{комп}}(\Theta) = \sum_{i=1}^m (-g_{m+1,i}) \exp\{j(i-1) \pi \sin \Theta\}.$$

Как правило, весовые коэффициенты АК являются неизвестными. Представляет интерес сравнительный анализ ДН адаптивных АК на основе многовходового весового сумматора (классическая одноступенчатая схема) и процессора Грама-Шмидта, в которых вычисление весовых коэффициентов выполняется с помощью RLS-алгоритма [3]. При моделировании выбрано: число элементов АР $m=6$; число постановщиков активных шумовых помех (АШП) – 2 с одинаковой относительной мощностью 300, по отношению к уровню мощности собственных шумов приемных каналов. На рис. 2,а показаны ДН основного канала $A_{\text{осн}}(\Theta)$ (кривая 1) и ДН АР с АК на основе процессора Грама-Шмидта $A(\Theta)$ (кривая 2) в установившемся режиме. На рис. 2,б показаны аналогичные характеристики для АР с АК на

основе многовходового весового сумматора. Значками “*” – обозначены азимуты постановщиков АШП, расположенных в первых боковых лепестках ДН $A_{\text{осн}}(\Theta)$ (30° и -28°).

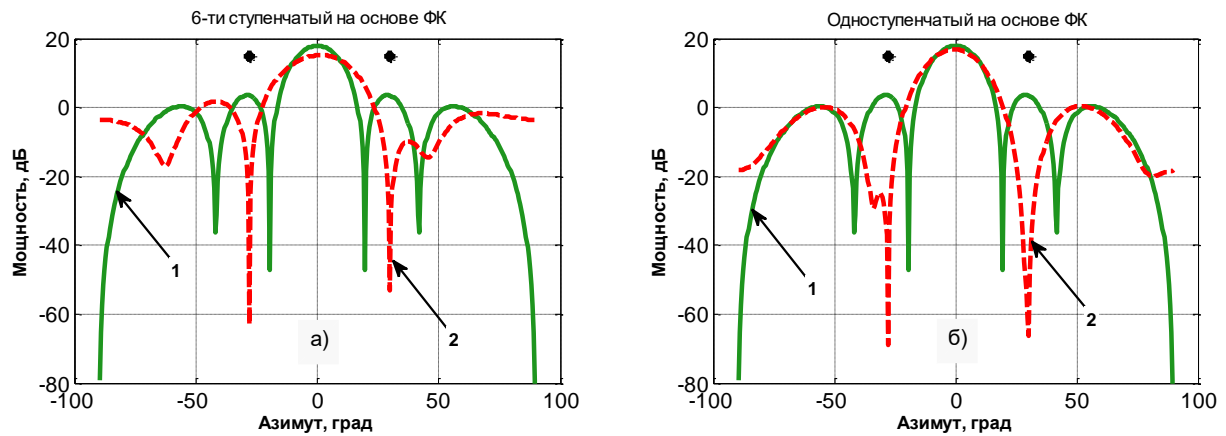


Рисунок 2.

Точность формирования нулей в направлениях на источники АШП одинаковая. При этом ширина зон режекции на уровне -20 дБ для одноступенчатой схемы приблизительно в 5 раз шире. Однако шестиступенчатая схема, в результате распараллеливания вычислений позволяет увеличить скорость обработки (частоту дискретизации сигнала) более чем на порядок.

Перечень источников

1. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках – М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.
2. Леховицкий Д.И. Адаптивные решетчатые фильтры. Часть 1. Теория решетчатых структур / Д.И. Леховицкий, Д.С. Рачков, А.В. Семеняка, В.П. Рябуха, Д.В. Атаманский // Прикладная радиоэлектроника. – 2011. – Том 10, № 4. – С. 381–404.
3. Monzingo, Robert A. Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. -2nd ed. Scitech publishing, inc. 2011. – 510 p.

Анотація

Отримано співвідношення для розрахунку діаграми спрямованості лінійної антенної решітки з автокомпенсатором на основі процесора Грама-Шмідта та виконано її аналіз при використанні для обчислення вагових коефіцієнтів в модулях RLS-алгоритму.

Ключові слова: Автокомпенсатор активних шумових завад, діаграма спрямованості, процедура ортогоналізації Грама-Шмідта, RLS-алгоритм.

Аннотация

Получено выражение для диаграммы направленности линейной антенной решетки с автокомпенсатором на основе процессора Грама-Шмидта и выполнен ее анализ при использовании для вычисления весовых коэффициентов в модулях RLS-алгоритма.

Ключевые слова: Автокомпенсатор активных шумовых помех, диаграмма направленности, процедура ортогонализации Грама-Шмидта, RLS-алгоритм.

Abstract

An expression for calculation of the linear array antenna directivity pattern with an automatic compensator based on the Gram-Schmidt processor and performed its analysis when used to calculate weighting factors in units of RLS-algorithm.

Keywords: Automatic compensators active noise interference, radiation pattern, the procedure Gram-Schmidt orthogonalization, of RLS-algorithm.